

ВИКОРИСТАННЯ ТУНЕЛЬНОГО КОНТАКТУ В ПОЛЬОВОМУ ТРАНЗИСТОРІ НА ОСНОВІ ГРАФЕНУ

Ануфрієв В.В.

Науковий керівник – к.ф.-м.н, доц. каф МЕЕПП, Глухов О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. МЕЕПП, тел.: (057) 702-13-62

E-mail: valentyn.anufriiev@nure.ua

In a tunnelling transistor, unlike a conventional field-effect transistor the channel is controlled by the quantum tunnelling effect rather than by charge injection. The purpose of this article is to consider the design and features of a graphene-based tunnelling field-effect transistor.

Перший працездатний транзистор з'явився на світ у 1947 році, тим самим почалася нова епоха у сфері електроніки. Транзистори стали використовувати майже всюди, від слухових апаратів, до комп'ютерів. Але, з часом ріст потужностей сповільнився і новим етапом розвитку передбачається графеновий транзистор, який має більшу частоту з тією ж довжиною затвора. Головним недоліком графену є відсутність забороненої зони, тому матеріал веде себе як ідеальний провідник. Для вирішення даної проблеми було додано тунельний контакт в будову транзистору [1].

Висока рухливість електронів, підвищені робочі струми, хороша масштабованість і малий розмір – це одні з головних переваг транзисторів на графені. Проте для запобігання витоків струму і зниження паразитних впливів, проводячих ланцюгів, в чіпах потрібні схожі за характеристиками ізолюючі 2d-матеріали – тонкі, як графен, масштабовані та не пропускають електрони. Щоб подолати це обмеження було запропоновано додати тунельний контакт в канал транзистора [1]. При цьому провідність каналу може змінюватися при зміні напруги на затворі з декількох причин: завдяки зміні енергії Фермі та прозорості тунельного бар'єру в графені, що призводить до перемін щільності станів електронів, що тунелюють.

Тунельний контакт, в запропонованому варіанті [2], є контактом шару графена з діелектриком або напівпровідником. Для забезпечення великого струму (0.8 мА/мкм) відкритого стану тунельна прозорість бар'єру має бути досить високою ($T \sim 0.1$), тобто бар'єр має бути або вузьким, або низьким (~ 0.3 eV). Висота бар'єру визначається матеріалом тунельного контакту. Відомо, що на межі "графен-гексагональний нітрид бору" висота складає $h = 1.5$ eV для дірок і 4 eV для електронів [2]. Для зменшення роботи виходу в якості тунельного контакту можна використати напівпровідниковий матеріал (наприклад, SiO₂), тоді висота

бар'єру дорівнює половині висоти забороненої зони ($\Phi = \frac{E_g}{2}$). На рис. 1 зображено кремнієву вставку, що знаходиться в центрі провідникового каналу.



Рисунок 1 – Тунельний польовий транзистор на основі графену [1]

Використання гексагонального нітриду бору забезпечує високу рухливість носіїв заряду ($\mu = 100\,000\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$). Головними особливостями гексагонального нітриду бору є висота бар'єру для тунелювання - 3.07eV , $E_{\text{міц}} = 7.94\text{МВ/см}$ та E_g h-BN складає $5.2\text{-}6.0\text{eV}$, розходження в параметрах решітки h-BN та графена складає 1.7% (постійна решітки h-BN – 2.5\AA , а для графена – 2.46\AA). Розміщення графена на підкладках hBN призводить до істотного збільшення рухливості носіїв в графені. Величина ефекту залежить від якості графена і hBN. Розрахункові залежності рухливості від температури, концентрації носіїв і типу підкладок з роботи представлені на рис. 2.

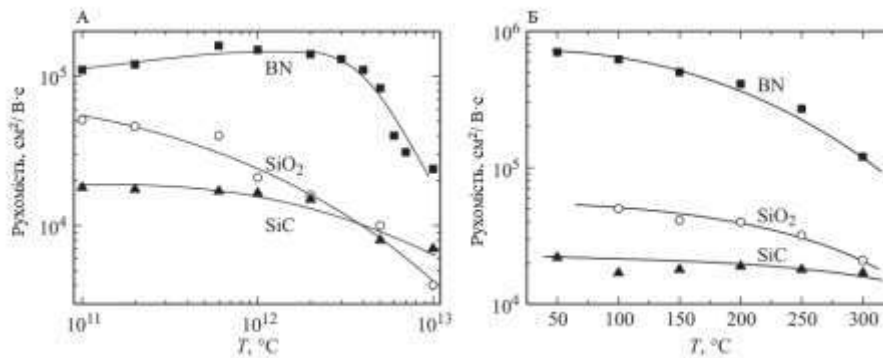


Рисунок 2 – Розрахункові залежності рухливості носіїв в графені, вироблених методом механічного розшарування (А) і методом CVD (Б)

Додання тунельного контакту та нітриду в будову графенового транзистора дає можливість перемикатися між відкритим і закритими станами при низьких напругах (менше 0.5В), суттєво збільшує рухливість носіїв заряду. Це означає, що транзистор має менше енергоспоживання та тепловиділення.

Література

1. Свінцов Д. А., Вьюрков В. В., Лукічов В.Ф., А.А., Буренков А., Охнер Р. Тунельні польові транзистори на основі графена : наукова стаття. Ерлаген : Інститут інтегральних схем суспільства Фраунгофера, 2013 р. 7 с.

2. Антонова И. В. Вертикальные гетероструктуры на основе графена и других монослойных материалов: научная статья. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2015 р. 16 с.